饲粮添加发酵中药渣对围产期母猪粪便微生物及其代谢产物的影响

李华伟[1,2]　苏家宜[1]　胡诚军[1]　印遇龙[1]　吴灵英[2]　孔祥峰[1,3*]

（1.中国科学院亚热带农业生态研究所，亚热带农业生态过程重点实验室，湖南省畜禽健康养殖工程技术研究中心，农业部中南动物营养与饲料科学观测实验站，长沙 410125；2.武汉轻工大学，动物科学与营养工程学院，武汉 430023；3.湖南省植物功能成分利用协同创新中心，长沙 410128）

摘　要：本试验旨在比较中药渣和发酵中药渣对母猪粪便微生物及其代谢产物的影响，为其在母猪饲粮中的应用提供依据。试验选用 2~4 胎次、预产期相近的二元母猪 60 头，随机分为 3 组，每组 20 头。3 组分别在基础饲粮中添加 2 kg/t 的米糠（对照组）、2 kg/t 的中药渣和 2 kg/t 的发酵中药渣。从妊娠 85 d 开始饲喂，到产后 21 d 结束。分别于妊娠 110 d 和产后 21 d，每组随机收集 8 头母猪的新鲜粪便样品，测定微生物数量以及短链脂肪酸（SCFA）和生物胺的含量。结果表明：与对照组相比，中药渣组母猪产前粪便中丙酸含量显著增加（$P<0.05$），丁酸（$P=0.086$）、直链脂肪酸（$P=0.068$）和总 SCFA（$P=0.089$）含量呈增加趋势，苯乙胺含量显著降低（$P<0.05$）；产后粪便中 1,7-庚二胺和酪胺含量显著降低（$P<0.05$）。发酵中药渣组母猪产前粪便中 1,7-庚二胺、亚精胺和精胺含量均显著降低（$P<0.05$），乙酸（$P=0.068$）、丁酸（$P=0.082$）、直链脂肪酸（$P=0.058$）和总 SCFA（$P=0.064$）含量呈增加趋势；产后粪便中乳酸杆菌数量显著增加（$P<0.05$）；产前和产后粪便中大肠杆菌数量、酪胺含量显著降低（$P<0.05$）。综上，饲粮添加中药渣或发酵中药渣可改善围产期母猪后肠微生物菌群平衡，增加 SCFA 含量，减少生物胺含量，这有利于机体的能量供给和健康。

关键词：妊娠母猪；发酵中药渣；粪便；微生物；代谢产物

中图分类号：S816　　文献标识码：　　文章编号：

中草药作为功能性饲料添加剂，具有资源丰富、绿色无污染、生物学功能突出等优点。由于受提取手段和提取效率的制约，中药加工企业产生的中药渣中残留有多种生物活性成分和营养物质。例如，半夏厚朴汤药渣中残留有 49.8%的挥发油[1]，黄芪药渣中残留有 72.1%的黄芪苷[2]。黎智华等[3]报道，中药渣中还富含粗纤维（11.82%～44.86%）、矿物质（4.72%～

收稿日期：2017–02–17

基金项目：湖南省战略性新兴产业科技攻关项目（2014GK1007）；中央驻湘科研机构技术创新发展专项（2013TF3006）；中国工程院咨询研究项目（2015-XY-41）

作者简介：李华伟（1989–），男，河南周口人，硕士研究生，从事猪营养生理研究。E-mail: zhenlihuawei@126.com

*通信作者：孔祥峰，研究员，博士生导师，E-mail: nnkxf@isa.ac.cn

12.56%）和粗蛋白质（10.56%～16.46%）等营养物质。由此可见，中药渣具有一定的开发利用价值。此外，利用现代发酵工艺对中药渣进行发酵处理，可以降低其粗纤维含量，提高蛋白质含量；在发酵过程中还可产生低聚糖等功能性次级代谢产物[4]，增加中药渣的利用价值。近年来的研究表明，中药渣制剂可以促进畜禽机体的生长发育、增强机体健康。例如，饲粮中添加由熟地、山楂、陈皮、麦芽和甘草等组成的发酵中药渣可增加断奶仔猪空肠吸收面积和养分消化率，调节血脂浓度，提高机体抗氧化能力，从而提高其生长性能[5-6]；在围产期饲粮中添加由黄芪、当归、益母草和金银花等组成的发酵中药渣可提高母猪产活仔数和仔猪断奶窝增重[7]。笔者前期研究发现，饲粮中添加由黄芪、当归、熟地黄和白芍等组成的中药渣发酵产物可显著提高仔猪的断奶窝增重[8]。结肠中栖息着的大量微生物参与了多种物质的代谢，其代谢产物短链脂肪酸（short-chain fatty acid,SCFA）、吲哚、粪臭素、氨氮和生物胺等会影响宿主整体代谢和机体健康[9]。肠道菌群失调会引起母猪便秘等肠道疾病[10]，目前关于中药渣影响母猪粪便微生物及其代谢产物的研究并不多见。因此，本试验进一步研究由黄芪、当归、熟地黄和白芍等组成的中药渣发酵产物对围产期母猪粪便微生物数量及其代谢产物的影响，为其在母猪饲粮中的应用提供依据。

1　材料与方法

1.1　中药渣制备与成分

试验所用的黄芪、当归、熟地黄和白芍等中药渣由湖南圣雅凯生物科技有限公司提供。取水提后的中药渣，121 ℃、30 min 灭菌后，按 4:2:2:2 比例将黄芪、当归、熟地黄和白芍进行混合（以干品计），药渣含水量控制在 40%～60%。按 0.4%的比例接种复合菌种（含枯草芽孢杆菌、酵母菌、乳酸菌和丁酸梭菌等，活菌数≥2×10^{10} CFU/g），置于 25 ℃以上条件下发酵 1 周，每天翻动 1～2 次，发酵后减压真空干燥，粉碎，颜色为棕褐色。经测定，中药渣和发酵中药渣制剂分别含 17.12 和 16.42 MJ/kg 总能、95.82%和 96.81%干物质、11.57%和 16.91%粗蛋白质、7.71%和 5.67%粗纤维以及 5.60%和 3.96%粗脂肪。

1.2　试验动物、分组与饲养管理

动物饲养试验于 2015 年 9—11 月在位于湖南新五丰股份有限公司永安分公司的中国科学院亚热带农业生态研究所动物试验基地进行。试验选用 2～4 胎次、预产期相近的妊娠 85 d 的二元母猪 60 头，随机分为 3 组，每组 20 头，单栏饲养。分别用 2 kg/t 的米糠（对照组）、2 kg/t 中药渣制剂（中药渣组）和 2 kg/t 发酵中药渣制剂（发酵中药渣组）等量替代基础饲粮。基础饲粮组成及营养水平见表 1。中药渣和发酵中药渣制剂的添加量根据生产厂家的预试验结果确定。从妊娠 85 d 开始饲喂妊娠母猪饲粮，妊娠 100 d 更换为泌乳母猪饲粮，到产

后 21 d 结束（仔猪断奶）。试验期间按猪场日常管理程序，给试验猪喂料、饮水和免疫。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	妊娠母猪饲粮 Pregnant sows' diet	泌乳母猪饲粮 Lactating sows' diet
原料 Ingredients		
玉米 Corn	60.30	58.65
麦麸 Wheat bran	23.50	5.00
小麦粉 Wheat flour		2.00
豆油 Soybean oil		4.00
豆粕 Soybean meal	12.00	20.50
酶解蛋白粉 Enzymic protein powder		3.00
进口鱼粉 Imported fish meal		2.50
赖氨酸 Lys	0.12	0.15
苏氨酸 Thr	0.03	0.05
缬氨酸 Val		0.10
防霉剂 Antimildew agent	0.05	0.05
妊娠母猪预混料 Pregnant sows' premix1)	4.00	
泌乳母猪预混料 Lactating sows' premix2)		4.00
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levles3)		
消化能 DE/(MJ/kg)	15.23	15.56
干物质 DM	98.00	97.74
粗脂肪 EE	5.16	6.02
粗纤维 CF	3.60	3.54
粗蛋白质 CP	14.17	19.78
粗灰分 Ash	5.61	5.95
赖氨酸 Lys	0.98	1.53
蛋氨酸 Met	0.12	0.16

苏氨酸 Thr	0.68	0.99

1)为每千克饲粮提供 Provided the following per kilogram of the diet：VA 10 000 IU,VD 2 500 IU,VE 100 IU,VK 2 mg,VB_2 10 mg,VB_6 1 mg,VB_{12} 50 μg,氯化胆碱 choline chloride 1 500 mg,Fe 80 mg,Cu 20 mg,Zn 100 mg,Mn 45 mg,I 0.7 mg,Se 0.25 mg。

2)为每千克饲粮提供 Provided the following per kilogram of the diet：VA 15 000 IU,VD 3 200 IU,VE 50 IU,VK 4 mg,VB_1 4 mg,VB_2 10 mg,VB_6 3 mg,VB_{12} 20 μg,氯化胆碱 choline chloride 800 mg,Fe 120 mg,Cu 20 mg,Zn 112 mg,Mn 24 mg,I 0.5 mg,Se 0.4 mg。

3)消化能为计算值，其余为实测值。DE was a calculated value, while the others were measured values.

1.3 粪便微生物数量测定

分别于母猪妊娠 110 d 和产后 21 d，每组随机收集 8 头母猪的新鲜粪便样品，－80 ℃冻存。按照 QIAamp DNA Stool Mini Kit(QIAgen,德国)的方法提取微生物 DNA，用于微生物定量 PCR 分析。微生物定量 PCR 测定参考焦金真等[11]的方法，结果以每克粪便中含有的微生物拷贝数的对数值[lg(CFU/g)]表示。微生物绝对定量 PCR 的特异性引物见表 2，由上海生工基因技术有限公司合成。

表 2 细菌的特异性引物序列

Table 2 Group-specific primer sequences for bacteria

细菌 Bacteria	序列 Sequence (5'—3')	产物大小 Product size/bp
双歧杆菌 *Bifidobacterium*	F：TCGCGTCYGGTGTGAAAG	128
	R：GGTGTTCTTCCCGATATCTACA	
大肠杆菌 *Escherichia coli*	F：CATGCCGCGTGTATGAAGAA	95
	R：CGGGTAACGTCAATGAGCAAA	
乳酸杆菌 *Lactobacillus*	F：AGCAGTAGGGAATCTTCCA	345
	R：ATTCCACCGCTACACATG	

1.4 粪便微生物代谢产物含量测定

采用气相色谱法[12]测定其中直链脂肪酸（包括乙酸、丙酸、丁酸和戊酸）、支链脂肪酸（BCFA，包括异丁酸和异戊酸）以及总 SCFA（直链脂肪酸+BCFA）的含量；采用高效液

相色谱法[13]检测生物胺的含量。

1.5　数据统计与分析

试验数据用 Excel 2010 进行初步整理后，用 SPSS 22.0 软件进行方差分析和 t 检验。数据以“平均值±标准误”表示。$P<0.05$ 表示差异显著，$0.05\le P<0.10$ 表示有变化趋势。

2　结果与分析

2.1　饲粮添加中药渣制剂对母猪粪便微生物数量的影响

由表 3 可知，与对照组相比，发酵中药渣组母猪产后粪便中乳酸杆菌数量显著增加（$P<0.05$），产前和产后粪便中大肠杆菌数量显著降低（$P<0.05$）；与中药渣组相比，发酵中药渣组母猪产后粪便中大肠杆菌数量显著降低（$P<0.05$）、乳酸杆菌数量呈增加趋势（$P=0.090$）。与产前相比，各组母猪产后粪便中双歧杆菌数量显著降低（$P<0.05$），中药渣组母猪产后粪便中大肠杆菌数量呈增加趋势（$P=0.096$）。

表 3　饲粮添加中药渣制剂对母猪粪便微生物数量的影响

Table 3　Effects of dietary herb residue (HR) preparation on fecal microbial population in sows

lg(CFU/g)

项目 Items		对照组 Control group	中药渣组 HR group	发酵中药渣组 Fermented HR group
双歧杆菌 *Bifidobecterium*	产前 Antepartum	6.234±0.313	5.713±0.290	5.977±0.190
	产后 Postpartum	4.559±0.131*	4.804±0.102*	4.751±0.148*
乳酸杆菌 *Lactobacillus*	产前 Antepartum	6.824±0.316	6.916±0.399	6.758±0.169
	产后 Postpartum	6.769±0.189^{b}	6.913±0.383^{ab}	7.621±0.256^{a*}
大肠杆菌 *Escherichia coli*	产前 Antepartum	6.965±0.612^{a}	5.546±0.472^{b}	5.132±0.678^{b}
	产后 Postpartum	6.657±0.255^{a}	6.602±0.369^{a}	5.534±0.319^{b}

*表示与产前比较差异显著（$P<0.05$），同行数据肩标不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。下表同。

* mean significant difference ($P<0.05$) compared with antepartum. Data in the same row with different letter superscripts differ significantly ($P<0.05$). The same as below.

2.2　饲粮添加中药渣制剂对母猪粪便 SCFA 含量的影响

由表 4 可知，与对照组相比，中药渣组母猪产前粪便中丙酸含量显著增加（$P<0.05$），丁酸（$P=0.086$）、直链脂肪酸（$P=0.068$）和总 SCFA（$P=0.089$）含量呈增加趋势；发酵中

药渣组母猪产前粪便中乙酸（*P*=0.068）、丁酸（*P*=0.082）、直链脂肪酸（*P*=0.058）和总 SCFA（*P*=0.064）含量呈增加趋势。与产前相比，各组母猪产后粪便中乙酸、丙酸、丁酸、直链脂肪酸、异丁酸、支链脂肪酸和总 SCFA 含量均显著增加（*P*<0.05），对照组和发酵中药渣组的戊酸含量显著增加（*P*<0.05）。

表 4　饲粮添加中药渣制剂对母猪粪便 SCFA 含量的影响

Table 4　Effects of dietary HR preparation on fecal SCFA contents in sows　　mg/g

项目 Items		对照组 Control group	中药渣组 HR group	发酵中药渣组 Fermented HR group
乙酸 Acetate	产前 Antepartum	2.77±0.50	3.95±0.67	4.33±0.41
	产后 Postpartum	7.19±0.66*	6.61±0.58*	5.87±0.43*
丙酸 Propionate	产前 Antepartum	1.23±0.13[b]	1.71±0.14[a]	1.56±0.18[ab]
	产后 Postpartum	2.52±0.23*	2.73±0.23*	2.61±0.14*
丁酸 Butyrate	产前 Antepartum	0.70±0.07	0.98±0.12	1.01±0.17
	产后 Postpartum	1.68±0.25*	1.45±0.11*	1.51±0.11*
戊酸 Valerate	产前 Antepartum	0.23±0.03	0.30±0.03	0.27±0.03
	产后 Postpartum	0.36±0.03*	0.33±0.03	0.38±0.02*
直链脂肪酸 Straight-chain fatty acids	产前 Antepartum	4.93±0.69	6.94±0.93	7.17±0.56
	产后 Postpartum	12.06±1.12*	11.13±0.78*	10.06±0.60*
异丁酸 Isobutyrate	产前 Antepartum	0.20±0.02	0.25±0.02	0.24±0.02
	产后 Postpartum	0.34±0.02*	0.40±0.07*	0.34±0.02*
异戊酸 Isovalerate	产前 Antepartum	0.54±0.06	0.52±0.07	0.65±0.06
	产后 Postpartum	0.66±0.04	0.69±0.05	0.73±0.04
支链脂肪酸 Branched chain fatty acid	产前 Antepartum	0.74±0.08	0.77±0.09	0.89±0.06
	产后 Postpartum	1.00±0.06*	1.09±0.09*	1.07±0.04*
总短链脂肪酸 Total SCFA	产前 Antepartum	5.67±0.76	7.71±1.00	8.06±0.59
	产后 Postpartum	13.06±1.16*	12.22±0.85*	11.13±0.61*

2.3　饲粮添加中药渣制剂对母猪粪便生物胺含量的影响

由表 5 可知，与对照组相比，中药渣组母猪产前粪便中苯乙胺、产后粪便中 1,7-庚二胺和酪胺含量均显著降低（*P*<0.05）；发酵中药渣组母猪产前粪便中苯乙胺（*P*=0.054）、腐胺

（*P*=0.063）和尸胺（*P*=0.069）含量均呈降低趋势，1,7-庚二胺、酪胺、亚精胺和精胺含量均显著降低（*P*<0.05），产后粪便中酪胺含量也显著降低（*P*<0.05）。关于母猪产后粪便中生物胺含量，与产前相比，对照组亚精胺和精胺均显著增加（*P*<0.05），中药渣组尸胺（*P*=0.072）和精胺（*P*=0.085）均呈增加趋势，发酵中药渣组尸胺、1,7-庚二胺和酪胺均显著增加（*P*<0.05）。

表 5　饲粮添加中药渣制剂对母猪粪便中生物胺含量的影响

Table 5　Effects of dietary HR preparation on fecal bioamine contents in sows　　μg/g

项目 Items		对照组 Control group	中药渣组 HR group	发酵中药渣组 Fermented HR group
色胺 Tryptamine	产前 Antepartum	0.62±0.20	0.35±0.14	0.57±0.12
	产后 Postpartum	0.61±0.15	0.54±0.15	0.71±0.16
苯乙胺 Phenylethylamine	产前 Antepartum	7.70±0.88^{a}	5.41±0.22^{b}	5.91±0.33^{ab}
	产后 Postpartum	5.87±0.99	5.03±0.67	6.35±0.72
腐胺 Putrescine	产前 Antepartum	5.65±0.93	4.35±0.39	3.81±0.28
	产后 Postpartum	5.06±0.90	4.60±0.66	5.14±0.84
尸胺 Cadaverine	产前 Antepartum	2.93±0.38	2.51±0.31	2.03±0.23
	产后 Postpartum	4.23±0.93	4.30±0.82	4.35±0.55*
1,7–庚二胺 1,7-Heptanediamine	产前 Antepartum	0.67±0.06^{a}	0.60±0.03^{ab}	0.54±0.01^{b}
	产后 Postpartum	0.87±0.09^{a}	0.63±0.06^{b}	0.70±0.04^{ab*}
酪胺 Tyramine	产前 Antepartum	1.71±0.34^{a}	1.08±0.30^{ab}	0.56±0.04^{b}
	产后 Postpartum	3.16±0.79^{a}	1.24±0.25^{b}	1.16±0.19^{b*}
亚精胺 Spermidine	产前 Antepartum	17.34±2.80^{a}	12.17±2.06^{ab}	9.48±1.42^{b}
	产后 Postpartum	5.64±0.73*	8.77±2.15	6.99±1.20
精胺 Spermine	产前 Antepartum	1.69±0.28^{a}	1.41±0.30^{ab}	0.83±0.17^{b}
	产后 Postpartum	0.51±0.06*	0.67±0.23	0.60±0.09

3　讨　论

乳酸菌是动物肠道中重要的有益菌，能够产生 SCFA、降低肠道 pH、抑制致病菌的繁殖，对改善胃肠道功能和维持肠道菌群平衡具有重要作用[14]。有研究表明，乳酸乳球菌具有超氧化物歧化酶活性，能够减少氧自由基引起的细胞损害[15]；过度的氧化应激会降低母

猪的产仔数和哺乳仔猪的生长速度[16]。本研究表明，饲粮添加发酵中药渣可显著增加母猪粪便中乳酸杆菌数量，显著降低大肠杆菌数量，可能与发酵中药渣中含有大量乳酸菌和益生元有关。前期研究表明，饲粮中添加发酵中药渣可显著增加仔猪的断奶平均日增重[8]，这可能与母猪肠道菌群的改善有关。

SCFA 主要由膳食纤维、抗性淀粉、低聚糖等不易消化的糖类在结肠受乳酸杆菌、双歧杆菌等有益菌群酵解产生，可维持肠道电解质平衡、调节肠道菌群平衡、改善肠道功能[17]。其中，乙酸可作为不同类型上皮细胞和肠道细菌的能量来源[18]，丙酸可参与三羧酸循环为机体提供能量[19]；丁酸是结肠黏膜上皮细胞的主要能源物质，可以维持肠黏膜上皮细胞的完整性，并促进大肠的生长[20]；异丁酸和异戊酸等支链脂肪酸来自支链氨基酸缬氨酸、异亮氨酸和亮氨酸的代谢，是肠腔中蛋白质分解代谢的理想标志物[21]。本研究表明，饲粮添加中药渣或发酵中药渣促进了围产期母猪肠道微生物的发酵，增加了后肠中 SCFA 的含量。SCFA 在结肠中除了可作为能源被上皮细胞吸收外，还对增殖、分化和基因表达起到调节作用[22]；另外，还可作为信号分子提高机体对营养物质的吸收[23]。因此，肠道中 SCFA 的增加有利于母体健康和胎儿发育。上述作用可能是因为中药渣中含有的膳食纤维可作为后肠中厌氧菌发酵产生 SCFA 的底物[18]，同时发酵中药渣中含有大量乳酸菌和益生元，可增加肠道中 SCFA 的含量[14]。与产前相比，产后基础饲粮营养水平增加（妊娠饲粮含 14.17%粗蛋白质、5.16%粗脂肪、0.98%赖氨酸和 0.68%苏氨酸，泌乳饲粮含 19.78%粗蛋白质、6.02%粗脂肪、1.53%赖氨酸和 0.99%苏氨酸），微生物发酵产生的 SCFA 大幅度提高，表现为产前对照组、中药渣组和发酵中药渣组粪便中总 SCFA 含量为 5.67、7.71 和 8.06 mg/g，而产后各组粪便中总 SCFA 含量为 13.06、12.22 和 11.13 mg/g，使得饲粮添加发酵中药渣对产后母猪粪便中 SCFA 的影响不显著。

生物胺可参与肠道黏膜屏障的发育与维持，进而影响宿主健康[18]。生物胺的产生不仅取决于代谢底物，还与结肠微生物有关。例如，鸟氨酸、精氨酸、赖氨酸和酪氨酸等氨基酸在大肠杆菌、拟杆菌属和双歧杆菌属等微生物的参与下代谢生成腐胺、尸胺和酪胺等生物胺[24]。本研究中，饲粮添加中药渣或发酵中药渣在一定程度上降低了母猪产前粪便中生物胺的含量，这可能与肠道中大肠杆菌数量的降低有关。有研究表明，低浓度的精胺可显著促进细胞的增殖，而亚精胺和腐胺则需要较高浓度才能显著促进细胞的增殖[25]，提示饲粮添加发酵中药渣有利于结肠上皮细胞的增殖。本研究中，与产前对比，产后母猪粪便中生物胺的含量增加，可能与泌乳饲粮中粗蛋白质含量的增加有关。姬玉娇等[26]的研究也表明，饲喂高营养水平饲粮可增加母猪结肠中生物胺的含量。

4 结 论

综上所述，饲粮添加中药渣或发酵中药渣可改善围产期母猪的肠道菌群平衡，增加后肠中 SCFA 含量，减少粪便生物胺含量，这有利于妊娠母猪的能量供给和机体健康。

参考文献：

[1] 冷桂华.黄芩及其提取药渣黄芩苷含量的比较[J].安徽农业科学,2007,35(10):2928,2935.

[2] 黄亚非,刘杰,黄际薇,等.HPLC 测定黄芪药渣中黄芪甲苷含量[J].中山大学学报:自然科学版,2009,48(2):146–148.

[3] 黎智华,祝倩,姬玉娇,等.六种中药渣的营养成分[J].天然产物研究与开发,2017,29(1):91–95.

[4] 刘凤梅,谭显东,羊依金,等.三七渣固态发酵生产蛋白饲料[J].中国酿造,2011(2):67–70.

[5] 苏家宜,李华伟,黎智华,等.发酵中药渣对断奶仔猪生长性能和肠黏膜形态结构的影响[J].天然产物研究与开发,2016,28(9):1454–1459.

[6] 苏家宜,姬玉娇,张婷,等.发酵中药渣对断奶仔猪血浆生化参数和抗氧化指标的影响[J].天然产物研究与开发,2017,29(2):284–289.

[7] 李华伟,王宗俊,祝倩,等.饲粮添加发酵中药渣对母猪繁殖性能与子代生长性能的影响[J].天然产物研究与开发,2016,28(10):1534–1539.

[8] 李华伟,黎智华,祝倩,等.饲粮添加中药渣和发酵中药渣对母猪繁殖性能与子代发育的影响[J].动物营养学报,2017,29(1):257–263.

[9] NICHOLSON J K,HOLMES E,WILSON I D.Gut microorganisms,mammalian metabolism and personalized health care[J].Nature Reviews Microbiology,2005,3(5):431–438.

[10] 毛春瑕,石显亮,何余湧,等.补饲发酵芦笋下脚料对母猪粪便形态和乳汁质量的影响[J].动物营养学报,2016,28(6):1867–1876.

[11] 焦金真,王芃芃,汤少勋,等.浏阳黑山羊胃肠道不同部位重要功能微生物的数量分布特征研究[J].畜牧兽医学报,2013,44(10):1590–1599.

[12] 耿梅梅,许丽卫,袁红朝,等.气相色谱法测定猪结肠内容物中短链脂肪酸含量[J].现代生物医学进展,2015,15(6):1010–1014.

[13] 许丽卫,耿梅梅,张丽萍,等.柱前衍生–反相高效液相色谱法测定仔猪结肠内容物生物胺含量[J].营养学报,2014,36(1):78–83.

[14] 李维,孙开济,孙玉丽,等.乳酸菌缓解肠道氧化应激研究进展[J].动物营养学报,2016,28(1):9–14.

[15] ITOH M,SASAKI H,FURUSE M,et al.Junctional adhesion molecule (JAM) binds to PAR-3:a possible mechanism for the recruitment of PAR-3 to tight junctions[J].The Journal of Cell Biology,2001,154(3):491–498.

[16] 敖江涛,郑溜丰,彭健.进程性氧化应激对母猪繁殖性能的影响及其营养调控[J].动物营养学报,2016,28(12):3735–3741.

[17] 刘小华.短链脂肪酸对肠道功效及其机制的研究进展[J].肠外与肠内营养,2012,19(1):56–58.

[18] 孔祥峰.结肠微生物氮代谢与机体健康研究进展[J].饲料与畜牧,2013(4):10–17.

[19] ZHOU X L,KONG X F,LIAN G Q,et al.Dietary supplementation with soybean oligosaccharides increases short-chain fatty acids but decreases protein-derived catabolites in the intestinal luminal content of weaned *Huanjiang* mini-piglets[J].Nutrition Research,2014,34(9):780–788.

[20] SEGAIN J P,DE LA BLÉTIÈRE D R,BOURREILLE A,et al.Butyrate inhibits inflammatory responses through NFκB inhibition:implications for Crohn's disease[J].Gut,2000,47(3):397–403.

[21] KONG X F,ZHOU X L,LIAN G Q,et al.Dietary supplementation with chitooligosaccharides alters gut microbiota and modifies intestinal luminal metabolites in weaned *Huanjiang* mini-piglets[J].Livestock Science,2014,160:97–101.

[22] XU J,BJURSELL M K,HIMROD J,et al.A genomic view of the human-*Bacteroides thetaiotaomicron* symbiosis[J].Science,2003,299(5615):2074–2076.

[23] MU C L,YANG Y X,LUO Z,et al.The colonic microbiome and epithelial transcriptome are altered in rats fed a high-protein diet compared with a normal-protein diet[J].Journal of Nutrition,2016,146(3):474–483.

[24] BLACHIER F,MARIOTTI F,HUNEAU J F,et al.Effects of amino acid-derived luminal metabolites on the colonic epithelium and physiopathological consequences[J].Amino Acids,2007,33(4):547–562.

[25] FUSI E,BALDI A,CHELI F,et al.Effects of putrescine,cadaverine,spermine,spermidine and β-phenylethylamine on cultured bovine mammary epithelial cells[J].Italian Journal of Animal Science,2008,7(2):131–140.

[26] 姬玉娇,祝倩,耿梅梅,等.高、低营养水平饲粮对环江香猪结肠菌群结构及代谢物的影响[J].微生物学通报,2016,43(7):1650–1659.

Effects of Dietary Fermented Herb Residue on Fecal Microbes and Their Metabolites in Peripartum Sows

LI Huawei[1,2] SU Jiayi[1] HU Chengjun[1] YIN Yulong[1] WU Lingying[2] KONG Xiangfeng[1,3*]

(1. *Key Laboratory for Agro-Ecological Processes in Subtropical Region, Hunan Provincial Engineering Research Center of Healthy Livestock, Scientific Observing and Experimental Station of Animal Nutrition and Feed Science in South-Central, Ministry of Agriculture, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha* 410125, *China*; 2. *School of Animal Science and Nutritional Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan* 430023, *China;* 3. *Hunan Co-Innovation Center of Utilizing Plant Functional Components, Changsha* 410128, *China*)

Abstract: This study was conducted to compare the effects of herb residue (HR) and fermented HR on fecal microbes and their metabolites in sows, to provide the basis for their application in sow production. Sixty crossbred sows with the same expected date of delivery during the 2 to 4 parities were used and randomly allocated to one of three groups with 20 replicates. The diets were supplemented with 2 kg/t of rice bran (control group), 2 kg/t HR, or 2 kg/t fermented HR, respectively, in the same basal diets. These diets were fed from 85 days post service to postpartum 21 days. Eight sows per group were randomly selected to collect the fresh feces at 110 days of pregnancy and postpartum 21 days, respectively, to analyze the amount of microbes, contents of short-chain fatty acid (SCFA) and bioamines. The results showed that the fecal propionate content at antepartum from sows in the HR group was significantly increased ($P<0.05$), the fecal contents of butyrate ($P=0.086$), straight-chain fatty acids ($P=0.068$) and total SCFA ($P=0.089$) displayed a trend toward increasing, and the fecal content of phenylethylamine was dramatically decreased ($P<0.05$), as well as the fecal contents of 1,7-heptanediamine and tyramine at postpartum ($P<0.05$), when compared with the control group. The fecal contents of 1,7-heptanediamine, spermidine, and spermine at antepartum from the sows in fermented HR group were significantly decreased ($P<0.05$), the fecal contents of acetate ($P=0.068$), butyrate ($P=0.082$), straight-chain fatty acids ($P=0.058$) and total SCFA ($P=0.064$) displayed a trend toward increasing, and the fecal *Lactobacillus* amount at postpartum was dramatically increased ($P<0.05$), while the fecal *Escherichia coli* amount, tyramine content at antepartum and postpartum were significantly

decreased (P<0.05), when compared with the control group. These findings suggest that dietary HR or fermented HR can improve the balance of hindgut microflora and increase the SCFA ccontent, while decrease the contents of bioamines, which is beneficial to supply energy and improve the health of peripartum sows.

Key words: pregnant sow; fermented herb residue; faece; microorganism; metabolites

*Corresponding author, professor, E-mail: nnkxf@isa.ac.cn (责任编辑　田艳明)